



## Evaluating and Comparing the Sensitivity of NSFQI and IRWQISC Models to Water Quality Parameters

A. Shokoohi<sup>1\*</sup> and H. Modaberi<sup>2</sup>

### Abstract

In this paper, by using variance based methods, the sensitivity analysis of the two well recognized water quality indices, namely NSFQI and IRWQISC, is presented in a comparative approach. The research was conducted by employing monthly sampling in thirteen stations on Pasikhan River during 2015. Sensitivity analysis for the parameters of the two models on one hand led to recognizing the most important parameters for a better measurement and on the other hand helped evaluation of the correctness of the parametr weights used in the model developed in Iran. In seasonal analysis, BOD was determined as the most sensitive parameters for both indices. In spatial analysis, NSFQI classified the river water quality as "Good" and "Bad" in upstream and downstream of Pasikhan River, respectively. Using Factor prioritization approach, it was found that DO was the most effective parameter in NSFQI, for which applying the approach minimized the uncertainty of the model output. In IRWQISC, DO at U/S stations and BOD at D/S stations were the most influencing parameters on the model output variance, which emphasized the importance of the frequency and precision of sampling for these two parameters against the others. Another important achievement of the present research was revealing the inconsistency of the weights used in IRWQISC, with respect to the sensitivity of the parameters and their influence on the model output in Pasikhan River.

**Keywords:** Sensitivity Analysis, Water Quality Index, NSFQI, IRWQISC, Pasikhan River.

Received: February 4, 2018

Accepted: July 14, 2018

## ارزیابی و مقایسه حساسیت مدل‌های NSFQI و IRWQISC نسبت به پارامترهای کیفیت آب

علیرضا شکوهی<sup>۱\*</sup> و هادی مدبری<sup>۲</sup>

### چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی و مقایسه حساسیت دو مدل کیفیت آب NSFQI و IRWQISC نسبت به پارامترهای کیفی با استفاده از روشهای مبتنی بر واریانس، روی رودخانه پسیخان با نمونه‌برداری ماهانه در سال ۹۴ در ۱۳ ایستگاه، منتخب انجام شده است. تحلیل حساسیت پارامترهای ۹ و ۱۱ گانه‌ی دو مدل فوق‌الذکر می‌تواند از یک‌طرف به افزایش دقت اندازه‌گیری در خصوص حساس‌ترین پارامترها بیانجامد و از طرف دیگر به ارزیابی صحت اوزان مورد استفاده در دو مدل و همچنین صحت‌سنجی مدل کیفی توسعه یافته در ایران منجر گردد. براساس نتایج تحلیل حساسیت فصلی پارامتر BOD بیشترین حساسیت را در هر دو مدل نشان داد. کیفیت آب براساس شاخص NSFQI در ایستگاه‌های بالادست "متوسط" و در ایستگاه‌های پایین‌دست، "بد" بود در حالی که شاخص IRWQISC کیفیت آب رودخانه در بالادست را "خوب" و در پایین‌دست "نسبتاً بد" گزارش نمود. آنالیز حساسیت مدل NSFQI به صورت مکانی براساس رویکرد Factor Prioritization پارامتر DO را مؤثرترین عامل بر واریانس خروجی مدل معرفی کرد و بر همین اساس به کمک رویکرد Factor Fixing نشان داده شد که با ثابت کردن پارامتر DO می‌توان واریانس خروجی را تا حد زیادی کنترل و عدم قطعیت مدل مزبور را تا حد زیادی کاهش داد. در مدل IRWQISC در ایستگاه‌های بالادست، پارامتر DO و در ایستگاه‌های پایین‌دست پارامتر BOD بیشترین تأثیر را در واریانس خروجی مدل داشت. بر این اساس در ارزیابی کیفی با شاخص IRWQISC تعداد دفعات و اندازه‌گیری دقیق دو پارامتر DO و BOD دارای اهمیت زیادی در مقابل ۹ پارامتر دیگر قلمداد گردید. نتیجه مهم دیگر مطالعات آن است که ضرایب وزنی پارامترهای کیفی در مدل IRWQISC تطابق مناسبی با اثرگذاری آنها در خروجی مدل برای نمایش وضعیت کیفی ندارد و این امر مطالعه بیشتری برای پذیرش آن به عنوان یک استاندارد بومی در ایران گوشزد می‌نماید.

**کلمات کلیدی:** تحلیل حساسیت، شاخص کیفی آب، NSFQI،

IRWQISC، رودخانه پسیخان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۴/۲۴

1- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: [shokoohi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:shokoohi@eng.ikiu.ac.ir)

2- Academic Member, Water Resources Monitoring Department, Environmental Research Center, Jihade Daneshgahi, Rasht, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲- عضو هیئت علمی گروه پایش منابع آب، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران.

\*- نویسنده مسئول  
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

شاخص می‌توان دید مناسبی در مورد کیفیت آب رودخانه‌ها به دست آورد (Sohrabi et al., 2015). گزارش‌هایی در خصوص استفاده از این شاخص در ارزیابی کیفیت منابع آبهای سطحی ایران در سالهای اخیر گزارش شده است. (Shokuhi et al. (2012 با استفاده از اندکس NSFQI به بررسی کیفیت آب سد آیدوغموش در حوالی میانه پرداختند. محققین مزبور با اندازه‌گیری پارامترهای کیفی مورد نیاز در ۸ ایستگاه در دو فصل بهار و تابستان آب سد آیدوغموش را برای شرب مناسب تشخیص دادند. (Parastar et al. (2013 با استفاده از دو روش NSFQI و WILCOX به ارزیابی کیفیت آب رودخانه هیروچایی از منابع اصلی آب خلخال و کوثر پرداختند. محققین مزبور با یکسال نمونه‌برداری ماهانه در ۴ ایستگاه وضعیت کیفی آب رودخانه را از نظر شاخص NSFQI متوسط و از نظر شاخص WILCOX برای آبیاری مناسب ارزیابی نمودند. (Mohseni Bandpay et al. (2014 در بررسی کیفیت رودخانه گل گل ایلام از اندکس NSFQI استفاده نمودند و با ذکر توانایی‌های اندکس مورد استفاده وضعیت رودخانه مزبور را در همه ایستگاهها و در همه دوره زمانی خوب تا متوسط ارزیابی کردند. نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش در یک دوره ۶ ماهه در سال ۹۲ از خرداد تا آبان و در ۶ ایستگاه اندازه‌گیری شدند. (Sharifdini et al. (2014 در بررسی کیفیت آب رودخانه دوهزار در تنکابن با استفاده از داده‌های برداشت شده در ۶ ماه در ۶ ایستگاه بجز کدورت مشکلی از نظر کیفی در این رودخانه ندیدند و اندکس NSFQI را در بررسی کیفیت آب سطحی روشی مناسب ارزیابی نمودند. در کشور ایران نیز با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب کشور شاخصی به نام شاخص کیفیت آبهای سطحی ایران،  $IRWQI_{Sc}^2$  تهیه شده است و توسعه‌دهندگان آن معتقدند که این شاخص می‌تواند چشم‌انداز و درک مناسبی از وضعیت کیفی منابع آب سطحی ایران ارائه نماید. استفاده از این شاخص در مطالعات کیفیت آب رودخانه‌های ایران در سالهای اخیر گزارش شده است. (Samadi (2016 با استفاده از شاخص IRWQI به بررسی آلودگی تالاب چغاخور در استان چهارمحال و بختیاری با تحلیل تأثیرات کمی و کیفی پساب‌های اراضی از دو بعد مکانی و زمانی بر کیفیت آب این تالاب پرداخت. در این تحقیق میانگین سالانه شاخص نسبتاً خوب بدست آمد در حالی‌که این وضعیت در ابتدای بهار در وضعیت متوسط، در انتهای بهار و ابتدای تابستان در وضعیت خوب و در انتهای تابستان و ابتدای پاییز در وضعیت نسبتاً خوب و در انتهای پاییز در وضعیت خوب قرار می‌گیرد. در همین زمان در بخش جنوب شرقی تالاب، به علت اضافه شدن رواناب مناطق مسکونی در اثر افزایش بارندگی و عدم تجزیه نیترات به علت کاهش دما، کیفیت آب تالاب متوسط ارزیابی گردید. (Sadeghi et al. (2015 با استفاده از دو شاخص NSFQI و  $IRWQI_{Sc}$  به ارزیابی کیفیت آب رودخانه

رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی مطرح می‌باشند. از طرفی با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و به تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش یافته است. آلودگی رودخانه‌ها، یکی از مهمترین مشکلات همه مناطقی است که در توسعه شهری به حریم کیفی رودخانه‌ها کم توجهی نموده‌اند. به‌طور کلی رودخانه‌ها ظرفیت پذیرش آلودگی را تا مقدار مشخص دارا می‌باشند که این مقدار بستگی به عوامل و فاکتورهای محیطی همچون دبی، شرایط اولیه، عمق رودخانه و غلظت فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه و غیره دارد (Aminpour et al., 2017). روند افزایش آلودگی‌ها، منابع آبی استان گیلان را از نظر کیفی و کمی تهدید می‌کنند. آلودگی‌های بی‌رویه و بی‌حد و حصر آب‌های سطحی نظیر آب رودخانه‌ها و تالاب‌ها، استفاده از سموم شیمیایی در مزارع کشاورزی، برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها و ریختن زباله‌ها در داخل و حاشیه رودخانه‌ها موجب شده است که منابع آبی استان به شدت آسیب ببینند (Panahandeh et al., 2015). تغییر در کیفیت آب‌های سطحی که بیش از ۷۰ درصد آب شرب استان را تأمین می‌کنند و آلودگی آب‌های زیرزمینی از جمله مشکلاتی هستند که بر نگرانی‌ها افزوده‌اند. به دلیل شرایط خاص نزدیکی آب‌های سطحی استان گیلان با آب‌های زیرزمینی، آلودگی‌ها با سرعت بیشتری انتقال و انتشار می‌یابند. مطالعه شرایط کیفی آب از این جهت مهم است که هر گونه تغییر در پارامترهای کیفی آب باعث تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی و جانوری می‌گردد. کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی بر حسب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تعیین می‌شود. شاخص کیفی آب معیاری برای طبقه‌بندی آب سطحی بر مبنای استفاده از پارامترهای استاندارد و در واقع ابزاری ریاضی است که تعداد زیادی از داده‌های مورد استفاده برای توصیف ویژگی‌های آب را به یک عدد تبدیل کرده و سطح کیفی آب را بدست می‌دهد. تعیین شاخص کیفی آب نیازمند یک گام نرمال‌سازی است که در آن هر پارامتر در مقیاس صفر تا ۱۰۰ تغییر شکل می‌یابد به نحوی که عدد صفر بدترین کیفیت و عدد ۱۰۰ حداکثر کیفیت را نشان می‌دهد. گام بعدی کاربرد یک فاکتور وزنی مبتنی بر اهمیت پارامتر کیفی در تعیین شاخص کیفیت آب است. بنیاد ملی بهداشت امریکا شاخص NSFQI<sup>1</sup> را جهت طبقه‌بندی کیفیت آب‌های سطحی ارائه نموده است که بر اساس دما، pH، کدورت، فسفات، نیترات، DO، TS، BOD و کلیفرم مدفوعی محاسبه می‌گردد. استفاده از این شاخص بسیار متداول بوده و برای طبقه‌بندی کیفی آب‌های سطحی کامل و جامع محسوب می‌گردد (Brown et al., 1970). با بکارگیری این

زرین گل در استان گلستان در دو فصل تابستان و پاییز با آماربرداری در ۹ ایستگاه پرداختند. اندکس NSFQI کیفیت آب رودخانه را متوسط ولی شاخص IRWQIsc کیفیت همین رودخانه را متوسط تا نسبتاً خوب تشخیص داد. براساس نتایج حاصله محققین آب رودخانه را برای کشاورزی مناسب ولی برای شرب نیازمند تصفیه تشخیص دادند. (Mirzaei et al., 2017) با استفاده از شاخص NSFQI، IRWQIsc و WQI به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های کرج و کن با نمونه‌برداری از ۲۰ ایستگاه از مهر ۹۱ تا خرداد ۹۲ پرداختند. شاخص NSFQI کیفیت آب رودخانه‌های تحت مطالعه را بد تا متوسط، اندکس IRWQIsc آنها را دارای کیفیت بسیار بد تا نسبتاً خوب و بالاخره اندکس WQI کیفیت رودخانه‌های مزبور را خوب تشخیص دادند. براساس برآورد محققین مزبور از نتایج حاصل، آب این دو رودخانه برای شرب و کشاورزی مناسب می‌باشد. در شاخص‌های NSFQI و IRWQIsc که چندین پارامتر روی خروجی آنها تأثیرگذار می‌باشد، لازم است دامنه حساسیت پارامترهای کیفی موجود در آنها مشخص و تأثیر دقت اندازه‌گیری‌ها بر کاهش یا افزایش عدد به دست آمده در خروجی مشخص گردد. آنالیز حساسیت که عملاً همراه تحلیل عدم قطعیت صورت می‌پذیرد روشی است که به وسیله آن آثار تغییرات ضرایب موجود در مدل‌ها را بر خروجی مدل می‌توان بررسی نمود (Herman et al., 2013). نتایج این بررسی‌ها را می‌توان در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار داد به گونه‌ای که موجب کاهش در وقت و هزینه گردد. همچنین استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطمئناً با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل، بهتر می‌توان ارتباط پارامترها را با یکدیگر و اندرکنش آنها با یکدیگر را درک نمود و حساسیت مدل را در نقاط مختلف مشخص کرد و بدین ترتیب محدوده کاربرد مناسب مدل را به منظور کارایی هر چه بیشتر آن ارائه نمود. روش‌های متنوع و گوناگونی برای آنالیز حساسیت ارائه شده است که موجب طبقه‌بندی این روش‌ها از جهات مختلف شده است. روش‌های آنالیز حساسیت و عدم قطعیت را می‌توان به ۲ روش  $LSA^3$  و  $GSA^4$  طبقه‌بندی نمود (Saltelli et al., 2004). در روش  $LSA$  در واقع از مفهوم مشتق نقطه تماس بر منحنی تغییرات تابع استفاده می‌شود. این روش در معادلات خطی کاربرد دارد و در معادلات غیرخطی دچار مشکلات اساسی می‌گردد. مهمترین مدل از این روش  $SRC^5$  می‌باشد. روش  $GSA$  میزان پراکنش و واریانس داده‌ها را در نظر می‌گیرد و ضعف روش  $SRC$  در ندیدن اثر کل پارامترها بر خروجی مدل را تا حد امکان پوشش می‌دهد. روش  $GSA$  برای مدل‌های غیرخطی نیز کاربرد دارد. مهمترین مدل از این روش  $FAST^6$  می‌باشد (Song et al., 2015). از دیگر روشهای پرکاربرد غیرخطی و گلوبال می‌توان به روش‌های

هدف اصلی این تحقیق، شناسایی و ارزیابی مقایسه‌ای مکانی و زمانی حساسیت پارامترهای مدل NSFQI و IRWQI در یک رودخانه دائمی به منظور آگاهی از تأثیر هر پارامتر بر روی کیفیت آب رودخانه می‌باشد. برای رسیدن به این هدف لازم است به این سوالات پاسخ داد: در یک رودخانه مشخص تغییرات مکانی (به صورت در نظر گرفتن ایستگاه‌های مختلف) چه تأثیری بر روی حساسیت پارامترهای مدل‌های NSFQI و IRWQIsc دارد؟ تأثیر طول دوره‌های زمانی مختلف مانند فصل بر روی حساسیت پارامترهای مدل‌های NSFQI و IRWQIsc و شناسایی پارامترهای حساس‌تر چقدر است؟ برای پاسخ به این سوالات تحلیل حساسیت پارامترهای مدل‌های NSFQI و IRWQIsc برای رودخانه پسیخان در ۱۳ ایستگاه مختلف در طول مسیر رودخانه به صورت مکانی و همه فصول سال تحلیل به صورت چهار دوره زمانی بررسی گردید. با توجه به کاربرد گسترده این دو شاخص در ارزیابی کیفی بدنه‌های آبی و پرهزینه و زمان‌بر بودن تعیین پارامترهای کیفی، نتایج این پژوهش که برای اولین بار صورت می‌گیرد، می‌تواند به کاهش تعداد نمونه‌برداری‌ها از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و یا حداقل افزایش دقت بر

اندازه‌گیری مهمترین پارامترهای کیفی مؤثر بر شاخص‌های کیفی بیانجامد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲ شاخص NSFQI

این شاخص معیاری برای طبقه‌بندی آبهای سطحی بر اساس پارامترهای کیفی استاندارد شده در دسترس قرار می‌دهد. در سال ۱۹۷۰ میلادی سازمان بهداشت جهانی طرحی را به مرحله اجرا درآورد که بر اساس این طرح ۳۴۲ نفر از محققین در سراسر دنیا و از ملیت‌های مختلف انتخاب شده و بر روی ۳۵ پارامتر برای تعیین شاخص کیفیت آب آزمایشات متعددی انجام دادند و در نهایت ۹ پارامتر را به عنوان پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت آب معرفی کردند (Brown et al., 1970). این ۹ پارامتر شامل اکسیژن محلول (DO)، تغییرات دما (T)، کلیفرم مدفوعی (CF)، کدورت (TUR)، فسفات کل (P)، نیترات (N)، کل مواد جامد (TS)، pH و میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) است. براساس اهمیت پارامترها مطابق جدول ۱ به هر کدام وزنی داده می‌شود. شاخص کیفیت آب با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (Brown et al., 1970):

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n I_i W_i \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $I_i$  مقدار مربوط به پارامتر کیفی و  $W_i$  ضریب وزنی مربوط به آن پارامتر است. در نهایت با داشتن مقدار شاخص و با استفاده از جدول ۲ کیفیت رودخانه به صورت محدوده عالی، خوب، متوسط، بد و خیلی بد طبقه‌بندی می‌شود.

### ۲-۲ شاخص IRWQI<sub>SC</sub>

این شاخص به عنوان یک شاخص کیفی برای آبهای سطحی کشور ایران به کار می‌رود. مراحل انجام کار همانند روش NSFQI

می‌باشد با این تفاوت که معادله و مقادیر وزن مربوط به پارامترهای کیفی متفاوت می‌باشد. پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت IRWQI<sub>SC</sub> شامل اکسیژن محلول (DO)، کلیفرم مدفوعی (CF)، کدورت (TUR)، فسفات کل (P)، نیترات (N)، هدایت الکتریکی (EC)، pH، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، آمونیوم (NH<sub>4</sub>) و سختی کل (H) است. مقادیر وزن شاخص IRWQI<sub>SC</sub> در جدول ۳ آمده است. رابطه ۲ معادله مربوط به شاخص کیفیت IRWQI<sub>SC</sub> و جدول ۴ تفسیر آلودگی آب رودخانه را براساس مقدار عددی شاخص آسیب‌پذیری IRWQI<sub>SC</sub> را نشان می‌دهند (Hashemi et al., 2012):

$$IRWQI_{SC} = \left( \prod_{i=1}^n I_i W_i \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2)$$

در معادله فوق  $I_i$  مقدار شاخص از پارامتر  $A_i$ ،  $W_i$  وزن پارامتر  $A_i$ ،  $n$  تعداد پارامترها و  $\gamma$  مجموع وزن‌ها ( $\sum_{i=1}^n W_i$ ) می‌باشد.

## ۲-۳ روش‌های تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت مبتنی بر واریانس

روش‌های مبتنی بر واریانس از یک نسبت واریانس برای برآورد پارامترهای مهم بر اساس تحلیل واریانس استفاده می‌کنند (Saltelli et al., 1999; Sobol, 1993) و مبتنی بر تحلیل عدم قطعیت خروجی به ازای ورودی معین هستند. هدف آن‌ها تعیین تأثیر هر پارامتر بر واریانس کلی خروجی مدل است. در این روش دو نوع اندازه‌گیری حساسیت شامل تأثیر مرتبه اول و تأثیر کل (مجموع اثرات) وجود دارد. تأثیرات مرتبه اول، اثرات اصلی را برای واریانس خروجی با توجه به ورودی‌های مدل بررسی می‌کند، حال آنکه مجموع اثرات، کل واریانس خروجی را محاسبه می‌کند که در واقع شامل تأثیرات مرتبه اول و مراتب بالاتر (ناشی از اندرکنش متقابل بین ورودی‌ها) است.

Table 1- Weights of parameters in NSFQI index (Brown et al., 1970)

جدول ۱- وزن بکارگرفته شده در شاخص NSFQI (Brown et al., 1970)

Parameter	DO	T	CF	TUR	P	N	TS	pH	BOD
Weight	0.17	0.1	0.16	0.08	0.1	0.1	0.07	0.11	0.11

Table 2- Classes of numerical values of NSFQI index (Brown et al., 1970)

جدول ۲- تفسیر آلودگی براساس مقدار عددی شاخص NSFQI (Brown et al., 1970)

Color	Class	Numerical value
Red	Very bad	0-25
Orange	Bad	25-50
Yellow	Medium	50-70
Green	Good	70-90
Blue	Very good	90-100

**Table 3- Weights employed in IRWQIsc index (Hashemi et al., 2012)**  
**جدول ۳- وزن به کار گرفته شده در شاخص (Hashemi et al., 2012) IRWQISC**

Amonium	Coliform	BOD	pH	سختی کل	N	P	TUR	EC	COD	DO	Parameter Weight
0.09	0.14	0.117	0.051	0.059	0.108	0.087	0.062	0.096	0.093	0.097	

تغییرات آن‌ها، روش تجزیه واریانس برای مدل‌هایی که تعداد پارامترهای آنها زیاد است، روش مناسبی است هرچند کاربرد این روش در مدل‌های پیچیده با تعداد بسیار زیاد پارامتر به علت افزایش تعداد ارزیابی‌های مدل دشوار به نظر می‌رسد (Song et al., 2015). در این مطالعه از شاخص حساسیت کل هر پارامتر، یعنی اثر جداگانه هر پارامتر، به اضافه برآوردی از برهم‌کنش‌های آن با همه پارامترهای دیگر، استفاده شده است.

### ۲-۳-۱- تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت معادلات IRWQIsc و NSFQI

جهت تعیین عدم قطعیت و آنالیز حساسیت معادلات، ابتدا داده‌های نمونه برداری شده نرمال سازی شد و با استفاده از نرم افزار Easy-Fit بهترین توزیع داده‌ها انتخاب گردید و مقادیر میانگین و انحراف معیار و سایر داده‌های آماری مورد استفاده در انواع توزیع‌ها به دست آمد. سپس با استفاده از نرم افزار Sim-Lab و تکنیک مونت کارلو نمونه‌های تصادفی به مقدار مورد نیاز شبیه‌سازی گردید. از آنجا که مدل NSFQI یک مدل خطی و monotonic بود، می‌توان هم از روش نمونه‌گیری تصادفی تکنیک SRC استفاده نمود و هم می‌توان از روش نمونه‌گیری Fast و تکنیک total-order استفاده نمود. نکته قابل ذکر این است که در معادلات خطی، روش SRC دقت بیشتری نسبت به روش Fast (total-order) دارد (Song et al., 2014). به همین دلیل از روش SRC برای تعیین آنالیز حساسیت مدل NSFQI استفاده شد. مدل IRWQIsc یک مدل غیرخطی و non-monotonic بود. برای تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت این مدل از روش‌های Fast و Sobol استفاده گردید. در انتها با استفاده از رویکرد Factor-Priorization حساس‌ترین پارامتر مدل در هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر در رودخانه پسیخان تعیین شد.

### ۲-۳-۲- تکنیک مونت کارلو

این تکنیک در واقع یک نوع روش شبیه‌سازی می‌باشد. شبیه‌سازی مونت کارلو در واقع ایجاد یک محیط ساختگی و استفاده از یک مدل نظری است. برای تخمین رفتار یک سیستم موجود، محیط ساختگی یا مصنوعی، فضایی است که در آن تحلیلگر تلاش می‌کند تا سیستم در جهان حقیقی الگوبابی گردد. در این مطالعه ابتدا توزیع هر کدام از پارامترهای مدل بررسی شده و با استفاده از مقادیر آماری مربوط به

**Table 4- Classes of numerical values of IRWQIsc index (Hashemi et al., 2012)**  
**جدول ۴- تفسیر آلودگی بر اساس مقدار عددی شاخص (Hashemi et al., 2012) IRWQISC**

Color	Class	Numerical value
Red	Bad	15-29.9
Orange	Fairly bad	30-44.9
Yellow	Medium	45-55
Green	Fairly Good	55.1-70
Indigo	Good	70.1-85
Blue	Very good	>85

بنابراین، تفاوت اثرات مرتبه اول و کل، تأثیر روابط متقابل بین متغیرها بر خروجی مدل را نشان می‌دهد. در تحلیل حساسیت در صورتی که هدف، ثابت نگه داشتن پارامترهای غیرمهم باشد تحلیل حساسیت کل محاسبه می‌شود (Tian, 2013). روش‌های مبتنی بر واریانس شامل دو تکنیک FAST و Sobol می‌باشند (Saltelli, 2012). در روش FAST اثر اندرکنش پارامترها بر واریانس خروجی دیده نمی‌شود ولی در روش Sobol این اثرات مشاهده می‌شود. تجزیه واریانس کل خروجی به پارامترهای تشکیل‌دهنده و اثرات متقابل آن‌ها را می‌توان به صورت رابطه ۳ نشان داد (Saltelli et al., 2008):

$$D(f) = \sum_i D_i + \sum_{i < j} D_{ij} + \sum_{i < j < k} D_{ijk} + D_{12...P} \quad (3)$$

که در آن  $D(f)$  نشان‌دهنده واریانس کل خروجی،  $D_i$  سهم واریانس مرتبه اول از پارامتر  $i$ ،  $D_{ij}$  و  $D_{ijk}$  به ترتیب سهم واریانس مرتبه دوم و سوم از اثرات متقابل بین پارامترهای  $i$  و  $j$  و  $i, j$  و  $k$  شامل همه برهم‌کنش‌های بالاتر از مرتبه سوم است. شاخص‌های حساسیت مرتبه اول و کل، به ترتیب، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$S_i = \frac{D_i}{D} \quad (4)$$

$$S_{Ti} = 1 - \frac{D_{\sim i}}{D} \quad (5)$$

شاخص مرتبه اول بخشی از کل واریانس خروجی تشکیل شده به وسیله پارامتر  $i$  است. شاخص مرتبه کل، یک منهای بخشی از واریانس کل منسوب به  $D_{\sim i}$  که نشان‌دهنده تمام پارامترها به جز  $i$  است. به دلیل افزایش اثرات متقابل با افزایش تعداد پارامترها و همچنین دامنه

## ۲-۵- پایش میدانی

پس از بازدید میدانی، باتوجه به موقعیت آب‌های ورودی به رودخانه، منابع تولید آلاینده‌های منطقه، مکان ورود آلاینده‌ها و نیز امکان نمونه‌برداری، تعداد ۱۳ ایستگاه منتخب به صورت هفت ایستگاه بالادست و شش ایستگاه پایین‌دست در طول رودخانه تعیین شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. نمونه‌برداری‌ها در سال ۹۴ به صورت ماهانه (اواسط هر ماه) انجام گرفت. برداشت، نگهداری و سنجش پارامترهای مورد نظر طبق روش استاندارد  $SMEWW^7$  (APHA, 2005) در آزمایشگاه کنترل کیفی آب پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی (آزمایشگاه معتمد) صورت گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

به منظور تشریح بهتر وضعیت کیفی آب رودخانه پسیخان، مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI در فصول مختلف سال ۹۴ با هم مقایسه گردید. از این پس در سرتاسر متن منظور از نتایج کیفی آب در فصول مختلف سال اعم از بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال ۹۴ می‌باشد.

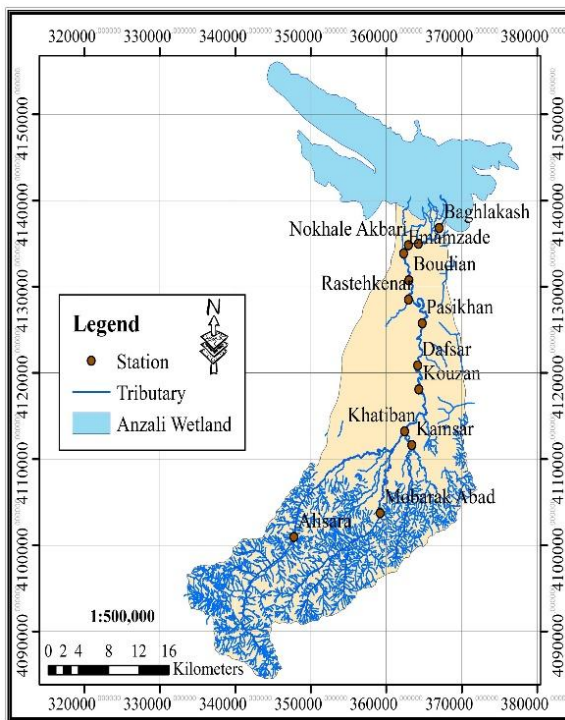


Fig. 2- Map of Pasikhan River and its tributaries and gauge stations

شکل ۲- نقشه موقعیت ایستگاه‌ها و زیرشاخه‌های رودخانه

پسیخان

ویژگی آنها شامل میانگین، واریانس و غیره، داده‌های جدید تولید گردید. در نهایت با انتخاب نوع روش نمونه‌گیری و وارد کردن پارامترها برای توزیع منتخب، آنالیز حساسیت هر کدام از پارامترها با در نظرگرفتن اثرشان روی مدل، براساس روشهای variance-based (Zeng et al., 2012). انجام شد (گلوبال)

## ۲-۴- منطقه مورد مطالعه

رودخانه پسیخان با طول تقریبی ۶۶ کیلومتر و حوضه آبریز به مساحت ۸۴۰ کیلومتر مربع یکی از رودخانه‌های مهم استان گیلان است که پس از عبور از مناطق مسکونی شهری (شهرستان شفت) و روستایی در نزدیکی نوخاله به تالاب انزلی منتهی می‌شود. رودخانه پسیخان به دلیل سهم بالای آن در آبیاری مزارع غرب گیلان دارای اهمیت زیادی بوده و به دلیل همجواری با مناطق مسکونی، استخرهای پرورش ماهی و اراضی شالیزاری و نیز تخلیه زهکش‌های این مزارع به آن، از نظر آلودگی در معرض تهدید است (Mohammadi et al., 2006). شکل ۱ نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه و شکل ۲ محل قرارگیری ایستگاه‌ها و زیرشاخه‌های رودخانه پسیخان را نشان می‌دهد.

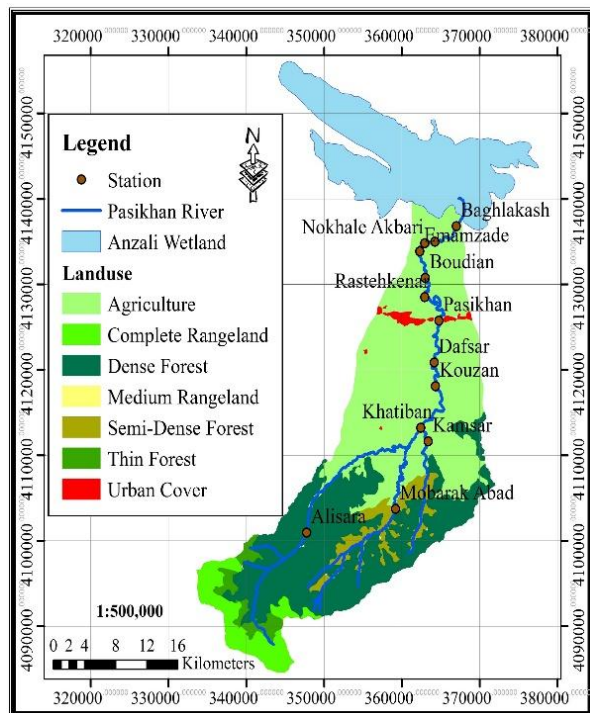


Fig. 1- Land use map of Pasikhan River watershed

شکل ۱- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز رودخانه پسیخان

**Table 5- Location of U/S stations on Pasikhan River**  
**جدول ۵- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های بالادست رودخانه پسیخان**

Name	Alisara	Mobarakabad	Kamsar	Khatiban	Kouzan	Dafsar	Pasikhan
No.	1	2	3	4	5	6	7
Longitude	49° 17' 20''	49° 24' 17''	49° 27' 66''	49° 27' 33''	49° 28' 13''	49° 28' 04''	49° 28' 46''
Latitude	37° 02' 32''	37° 04' 16.6''	37° 08' 98''	37° 09' 10''	37° 11' 98''	37° 13' 50''	37° 16' 09''
Mean Sea Level (m)	250	85	35	23	17	8	-13

**Table 6- Location of D/S stations on Pasikhan River**  
**جدول ۶- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه پسیخان**

Name	Rastehkenar	Boudian	Emamzadek Nowkhaleh	Nowkhaleh Akbari	Nowkhaleh Jafari	Baghlakesh
No.	8	9	10	11	12	13
Longitude	49° 27' 19''	49° 27' 21''	49° 26' 24''	49° 27' 15''	49° 28' 04''	49° 27' 88''
Latitude	37° 17' 54''	37° 19' 71''	37° 20' 27''	37° 20' 98''	37° 21' 37''	37° 22' 00''
Mean Sea Level (m)	-4	-5	-8	-8	-7	-9

و فضولات حیوانی دامداری‌های موجود در منطقه باشد. مقادیر شاخص IRWQI<sub>Sc</sub> در فصل بهار از ایستگاه ۲ (مبارک آباد) با کیفیت بسیار خوب تا ایستگاه ۱۳ (باقلاکش) که در حد متوسط می‌باشد، متغیر بود. همچنین شاخص IRWQI<sub>Sc</sub> توانست در این فصل تفاوت بین ایستگاه‌ها را از نظر کیفی بهتر متمایز نماید.

### ۳-۲- مقایسه شاخص‌های کیفی آب در فصل تابستان

شکل ۴، مقادیر شاخص‌های کیفی و جدول ۸، تفسیر آلودگی‌ها را براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFQI و IRWQI<sub>Sc</sub> نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در فصل تابستان به علت دمای بالا و کاهش دبی رودخانه، مقادیر DO کاهش و BOD افزایش یافته است. از طرفی افزایش غلظت کلیفرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب کیفیت آب رودخانه را کاهش داده است. میزان فسفات و نترات بر روی شاخص NSFQI تأثیر چندانی نداشت ولی بر روی شاخص IRWQI<sub>Sc</sub> تأثیر زیادی داشته به طوری که یکی از علل کاهش این شاخص در طول رودخانه در این فصل بود. کیفیت آب رودخانه پسیخان براساس شاخص NSFQI در ایستگاه‌های بالادست متوسط و در ایستگاه‌های پایین‌دست، بد می‌باشد. این مقادیر بین ۴۰-۶۸ متغیر بود. تقسیم‌بندی کیفی آب در رودخانه براساس شاخص IRWQI<sub>Sc</sub> نشان داد که مقادیر DO کم، COD زیاد، کلیفرم بالا، سختی کل بالا و BOD زیاد، تأثیر زیادی روی مقادیر شاخص دارد به طوری که از کیفیت خوب تا نسبتاً بد متغیر است. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد عامل اصلی نزول کیفیت آب رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مورد مطالعه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های

سپس تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت مدل‌ها در هریک از ایستگاه‌های رودخانه انجام گرفت. از آنجا که طول رودخانه پسیخان حدود ۶۶ کیلومتر می‌باشد و ایستگاه‌های نمونه‌برداری منتخب در سرتاسر مسیر از کوهستان تا تالاب گسترش پیدا کرده بودند، لذا از ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۷ که شروع منطقه مناطق مسکونی و توسعه شهری می‌باشد به عنوان ایستگاه‌های بالادست و از ایستگاه‌های ۸ تا ۱۳ به عنوان ایستگاه‌های پایین‌دست استفاده شد.

### ۳-۱- مقایسه شاخص‌های کیفی آب در فصل بهار

شکل ۳، مقادیر شاخص‌های کیفی و جدول ۷، تفسیر آلودگی‌ها را براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFQI و IRWQI<sub>Sc</sub> نشان می‌دهد. بررسی بارش‌های سال ۹۴ در ایستگاه باران‌سنجی (ایستگاه باران‌سنجی قلعه رودخان در مرکز حوضه آبریز پسیخان) نشان داد که رودخانه در ماه بهار، به علت باران‌های فراوان و در نتیجه وجود دبی زیاد، در وضعیت کیفی متوسط تا خوب قرار دارد. اما مقادیر زیاد کلیفرم و فسفات موجود در کل رودخانه در این فصل سال از کیفیت آب رودخانه کاسته است. مقادیر افزایش BOD و فسفات در ایستگاه‌های پایین‌دست سبب شده است تا کیفیت آب رودخانه از حد بسیار خوب تا حد متوسط تغییر یابد. مقادیر شاخص NSFQI از ایستگاه ۱ (علیسرا) تا ایستگاه ۶ (دافسار) دارای کیفیت خوب ولی از ایستگاه ۷ (پسیخان) تا آخرین ایستگاه در پایین‌دست دارای کیفیت متوسط بود. ایستگاه ۳ (کمسار) اگرچه از سرشاخه‌های رودخانه پسیخان می‌باشد اما به مانند ایستگاه‌های پایین‌دست دارای کیفیت متوسط بود که دلیل آن می‌تواند وجود شهرک صنعتی شهرستان شفت

خانگی روستایی و شهری بود. برداشت‌های بی‌رویه آب به‌وسیله جریان رودخانه در فصل تابستان کاسته بود که این امر نیز به نوبه خود ایستگاه‌های پمپاژ احداث شده در رودخانه تا حد زیادی از مقدار دبی باعث افزایش غلظت مواد آلاینده در رودخانه شده است.

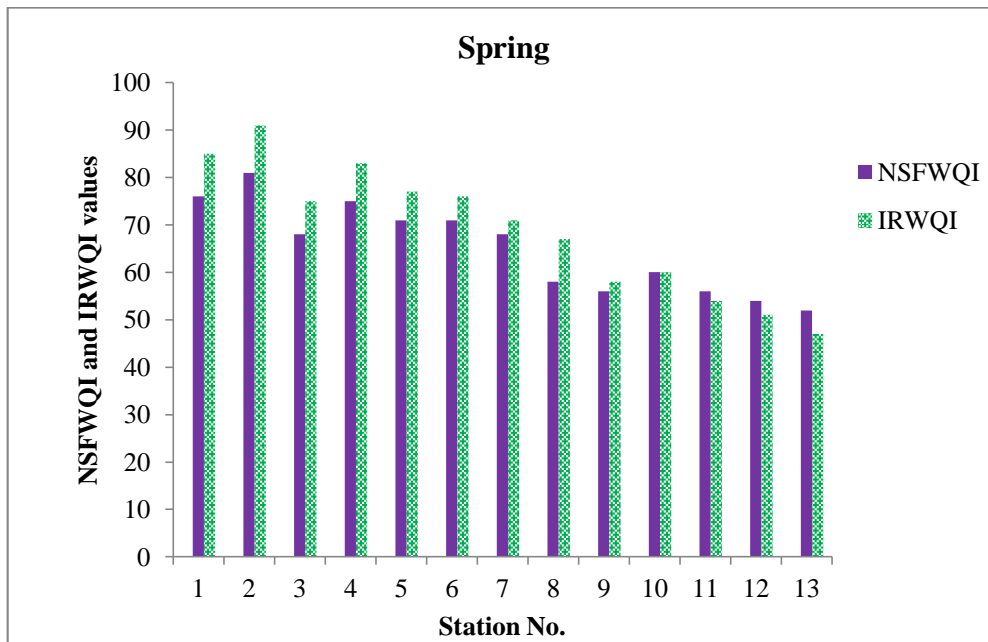


Fig. 3- NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> values at stations on Pasikhan River in Spring

شکل ۳- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> در ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان در فصل بهار

Table 7- Pasikhan River quality class in Spring based on NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> indices

جدول ۷- کلاس کیفیت آب رودخانه در فصل بهار براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub>

Sta. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Grade	Good	Good	Medium	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good
NSFWQI	76	81	68	75	71	71	68	58	56	60	56	54	52
Grade	Good	Very good	Good	Good	Good	Good	Good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Medium	Medium	Medium
IRWQI <sub>sc</sub>	85	91	75	83	77	76	71	67	58	60	54	51	47

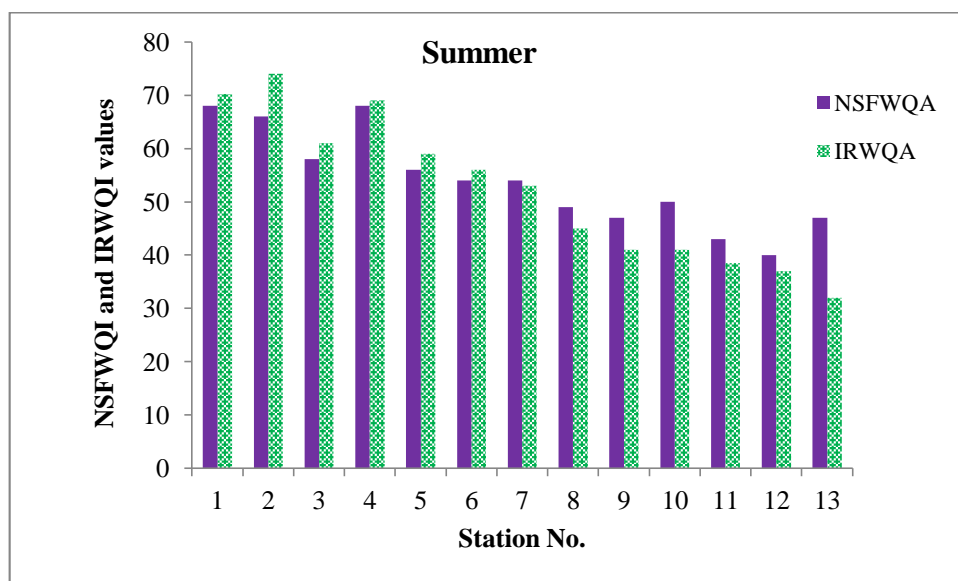


Fig. 4- NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> values for Pasikhan River in Summer

شکل ۴- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> در ایستگاه‌های مختلف در رودخانه پسیخان فصل تابستان



**Table 8- Pasikhan River quality class in Summer based on NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> indices**

جدول ۸- کلاس کیفیت آب رودخانه پسیخان در فصل تابستان براساس مقدار عددی شاخص های NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub>

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Sta. No.
47	40	43	50	47	49	54	54	56	68	58	66	68	Grade
Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Bad	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	NSFWQI
32	37	38.5	41	41	45	53	56	59	69	61	74	70.2	Grade
Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Fairly bad	Medium	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Good	Good	IRWQI <sub>sc</sub>

تمایزتری از خوب تا نسبتاً بد مشخص نمود. فاضلاب شهری و روستایی و صنعتی یکی از دلایل مهم کاهش کیفیت رودخانه در این فصل بود. اگرچه میزان فسفات و نیترات استفاده شده در استخر پرورش ماهی و دامداری ها نیز عامل دیگری جهت کاهش کیفیت آب بودند.

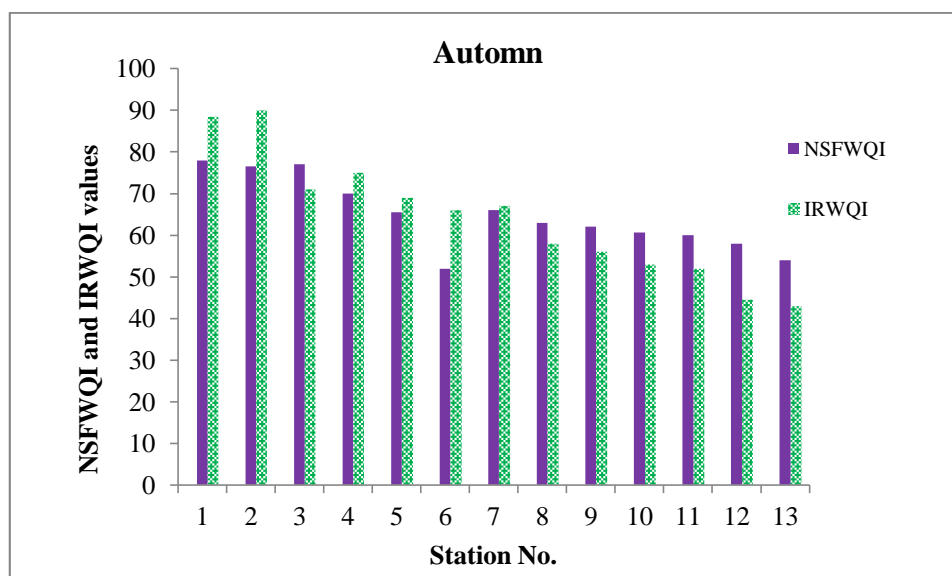
### ۳-۳- مقایسه شاخص های کیفی آب در فصل پاییز

شکل ۵، مقادیر شاخص های کیفی و جدول ۹، تفسیر آلودگی ها را براساس مقدار عددی شاخص های NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> نشان می دهد. نتایج هردو شاخص نشان داد ایستگاه های ۱ تا ۴ دارای کیفیت آب خوب می باشند و بقیه ایستگاه ها دارای کیفیت متوسط بودند.

### ۳-۴- مقایسه شاخص های کیفی آب در فصل زمستان

شکل ۶ مقادیر شاخص های کیفی و جدول ۱۰، تفسیر آلودگی ها را براساس مقدار عددی شاخص های NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> نشان می دهد. نتایج نشان داد که در فصل زمستان ایستگاه های بالادست به دلیل اکسیژن محلول بالا، شفافیت آب، pH مناسب و مقادیر بسیار کم فسفات و نیترات دارای کیفیت خوب و بسیار خوبی بودند.

شاخص IRWQI<sub>sc</sub>، ایستگاه های نوخاله و باقلاکش را نسبت به شاخص NSFQI با وضعیت کیفی نامطلوب تری نشان داد. با استفاده از شاخص NSFQI، رودخانه پسیخان در فصل پاییز از ۶۹ در ایستگاه خطیبان تا ۵۵ در ایستگاه باقلاکش دارای تفسیر کیفی متوسط بود که این گستردگی می تواند یک نقطه ضعف برای این شاخص باشد. در حالی که شاخص IRWQI<sub>sc</sub>، همین بازه را به صورت



**Fig. 5- NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> values at stations on Pasikhan River in Summer**

شکل ۵- مقادیر شاخص های کیفی NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> در ایستگاه های مختلف رودخانه پسیخان در فصل پاییز

**Table 9- Pasikhan River quality class in Autumn based on NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> indices**

جدول ۹- کلاس کیفیت آب رودخانه در فصل پاییز براساس مقدار عددی شاخص های NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub>

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Sta. No.
55	58	60	60.2	62	63	66	52	65.5	69	77	76.5	78	Grade
Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Good	Good	Good	NSFWQI
43	44.5	52	53	56	58	67	66	69	75	71	90	88.5	Grade
Fairly bad	Fairly bad	Medium	Medium	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Good	Good	Very Good	Very Good	IRWQI <sub>sc</sub>

BOD را نیز نمی‌توان نادیده گرفت. از ایستگاه‌های شماره ۵ تا ایستگاه آخر پارامتر DO بیشترین تأثیر را بر روی واریانس خروجی مدل دارد. در چنین مواردی که یک پارامتر مانند DO توانسته به تنهایی بیشترین واریانس خروجی (در حدود ۷۰ درصد) را به خود اختصاص دهد می‌توان از رویکرد Factor-Fixing استفاده نمود. این رویکرد کمک می‌کند تا با استفاده از یک سری کارهای آماری و نظرات کارشناسی و تجربی دیگر پارامترهای کمتر مؤثر را حول یک عدد خاص ثابت کرد بدون آنکه واریانس خروجی دچار تغییرات زیادی شود. با این رویکرد می‌توان با توجه به اینکه پراکنش پارامترهای pH، N، TSS و کدورت حول مقدار میانگین شان ناچیز بوده و میزان تغییرات آنها قابل اغماض است، از میانگین سالانه یا ماهانه این پارامترها در تعیین شاخص کیفیت استفاده نمود.

**۳-۶- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم قطعیت مدل غیرخطی IRWQI<sub>sc</sub> به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه**  
 نتایج تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت مدل IRWQI<sub>sc</sub> به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه در جدول ۱۲ آمده است.

این مقادیر در ایستگاه‌های پایین دست رودخانه نیز به همین شکل ادامه یافته اما به تدریج بالا رفتن مقدار BOD و کلیفرم سبب شده است که مقادیر شاخص کیفیت آب کاهش یافته و تا حد ۶۰ در ایستگاه باقلاکش برسد. دلیل این امر می‌تواند بی‌توجهی به ورود فاضلاب‌های انسانی به داخل رودخانه باشد. روستاهای همجوار رودخانه بدون هیچ‌گونه ممانعت قانونی انواع زباله و فاضلاب‌ها را به داخل رودخانه می‌ریزند.

**۳-۵- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم قطعیت مدل خطی NSFQI به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه**

نتایج تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت مدل NSFQI به صورت مکانی به تفکیک هر ایستگاه در جدول ۱۱ آمده است. در ایستگاه شماره ۱ پارامتر BOD بیشترین تأثیر را بر روی خروجی مدل نشان داد و بعد از آن پارامترهای درجه حرارت و کلیفرم در رده‌های بعدی قرار داشتند. در ایستگاه شماره ۲ پارامتر DO و کلیفرم توانستند عمده خروجی واریانس را به خود اختصاص دهند. در ایستگاه ۳ پارامتر DO بیشترین تأثیر را داشته و در ایستگاه ۴ با وجود اینکه پارامتر DO بیشتری تأثیرگذاری را روی واریانس خروجی دارد اما نقش پارامتر

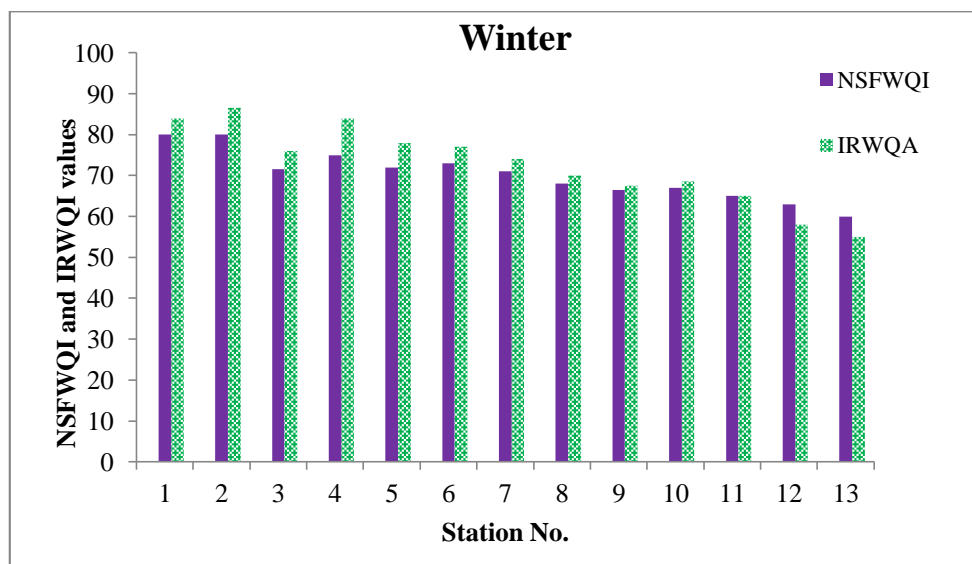


Fig. 6- NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> values at Pasikhan river's stations in Summer

شکل ۶- مقادیر شاخص‌های کیفی NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> در ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان در فصل زمستان

Table 10- Pasikhan River quality class in Winter based on NSFQI and IRWQI<sub>sc</sub> indices

جدول ۱۰- نوع کیفیت آب رودخانه پسیخان در فصل زمستان براساس مقدار عددی شاخص‌های NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub>

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Sta. No.
60	63	65	67	66.5	68	71	73	72	75	71.5	80	80	Grade Class NSFQI
Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Good	Good	Good	
55	58	65	68.5	67.5	70	74	77	78	84	76	86.5	84	Grade Class IRWQI <sub>sc</sub>
Fairly bad	Fairly bad	Medium	Medium	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Fairly good	Good	Good	Very good	Very good	

**Table 11- Sensitivity analysis for NSFQI at stations on Pasikhan River (SRC method)**  
**جدول ۱۱- نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل NSFQI در رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مختلف (روش SRC)**

No.	Station	Parameter	Sensitivity- Percent of Model output variance								Uncertainty		
			DO	T	Coliform	P	N	pH	TSS	BOD	TUR	MEAN	S.D
1	Alisara		0.1	<b>0.18</b>	<b>0.14</b>	0.09	0.05	0.04	0.03	<b>0.29</b>	0.02	75	1.9
2	Mobarakabad		<b>0.45</b>	0.04	<b>0.42</b>	0.02	0.005	0.02	0.02	0.02	0.002	77.3	3.6
3	Kamsar		<b>0.75</b>	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.06	0.005	66.2	3.5
4	Khatiban		<b>0.4</b>	<b>0.12</b>	0.09	0.02	0.03	0.05	0.03	<b>0.24</b>	0.008	70.6	2.1
5	Kouzan		<b>0.76</b>	0.06	0.07	0.02	0.01	0.03	0.01	0.07	---	64.7Q	3
6	Dafsar		<b>0.77</b>	0.03	0.04	0.02	0.005	0.04	0.01	0.06	0.004	64.9	3.9
7	Pasikhan		<b>0.7</b>	0.05	0.03	0.04	0.006	0.02	0.01	0.1	0.006	62.6	3.4
8	Rastehkenar		<b>0.67</b>	0.06	0.02	0.07	0.008	0.04	0.006	0.08	0.02	61.7	3.4
9	Boudian		<b>0.83</b>	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.003	0.04	0.01	58.3	4
10	Emamzadek Nowkhaleh		<b>0.67</b>	0.06	0.02	0.04	0.02	0.06	0.01	0.07	0.02	58.6	3.1
11	Nowkhaleh		<b>0.81</b>	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.008	57.5	3.8
12	Nowkhaleh Bazar		<b>0.76</b>	0.04	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.06	0.008	54.8	4
13	Baghlakesh		<b>0.72</b>	0.06	0.02	0.02	0.002	0.04	0.04	0.05	0.02	52.9	3.7

شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۳ نتوانست جواب مشخصی را ارائه نماید لذا از تکنیک sobol جهت تحلیل حساسیت مدل استفاده شد. نتایج حاصل از روش sobol در جدول ۱۳ آمده است. تحلیل عدم قطعیت مدل IRWQI<sub>sc</sub> در روش sobol برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان با روش Fast مطابقت دارد. اما نتایج آنالیز حساسیت حاصل از این دو روش با یکدیگر تفاوت داشت. در ایستگاه شماره ۱ نیتروژن بیشترین تأثیر را در واریانس خروجی مدل داشت. از ایستگاه ۲ تا ایستگاه ۷ پارامتر DO بیشترین حساسیت را نشان داد. در ایستگاه شماره ۸ تأثیر پارامترهای DO و BOD بر واریانس خروجی مدل تقریباً با هم برابر بود. اما از ایستگاه شماره ۹ تا ایستگاه آخر، BOD بالاترین حساسیت را نسبت به سایر پارامترها از خود نشان داد.

تحلیل عدم قطعیت مدل IRWQI<sub>sc</sub> برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان نشان داد که ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ دارای کیفیت خوب و بقیه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های شماره ۱۲ و ۱۳ دارای کیفیت متوسط می‌باشند. در دو ایستگاه آخر کیفیت آب رودخانه در طول سال به دو صورت متوسط و نسبتاً بد بود که دلیل این امر می‌تواند تفاوت در مقدار دبی جریان و فصول مختلف سال و نوع آلودگی موجود در رودخانه باشد. نتایج آنالیز حساسیت مدل IRWQI<sub>sc</sub> براساس رویکرد Factor Priorization نشان داد که پارامتر DO بیشترین تأثیر را بر واریانس خروجی مدل در ایستگاه‌های بالادست دارد. بعد از پارامتر DO می‌توان از پارامترهای BOD و نیتروژن به عنوان پارامترهای دارای حساسیت بالا نام برد. تکنیک Fast در ایستگاه‌های

**Table 12- Sensitivity and uncertainty analysis for IRWQI<sub>sc</sub> at stations on Pasikhan River (FAST method)**  
**جدول ۱۲- نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل IRWQI<sub>sc</sub> در رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مختلف (روش FAST)**

No.	Station	Parameter	Sensitivity- Percent of Model output variance										Uncertainty	
			DO	Coliform	P	N	pH	BOD	TUR	EC	Hardness	COD	MEAN	S.D
1	Alisara		0.37	0.06	0.1	0.37	0.1	0.15	0.01	0.004	0.006	0.008	79.35	2.8
2	Mobarakabad		0.4	0.07	0.07	0.27	0.05	0.02	0.007	--	0.002	0.004	83	3.9
3	Kamsar		0.45	0.04	0.1	0.16	0.01	0.1	0.005	--	0.01	0.002	70.25	3.65
4	Khatiban		0.35	0.07	0.07	0.1	0.03	0.18	0.006	0.1	0.01	0.006	74.9	3.4
5	Kouzan		0.37	0.08	0.06	0.05	0.01	0.1	0.004	0.1	0.01	0.02	68	4
6	Dafsar		0.43	0.1	0.05	0.05	0.01	0.15	0.004	0.07	0.007	0.03	67.3	4
7	Pasikhan		0.54	0.17	0.04	0.02	0.17	0.17	0.002	0.002	0.002	0.02	62.4	4.4
8	Rastehkenar		0.28	0.11	0.07	0.05	0.01	0.23	0.002	0.09	0.008	0.02	57.8	4
9	Boudian		0.35	0.33	0.04	0.02	0.02	0.3	0.003	0.13	0.005	0.03	54.6	3.7
10	Emamzadeh Nowkhaleh													
11	Nowkhaleh		0.48	0.33	0.04	0.02	0.05	0.18	0.003	0.002	0.002	0.01	53.2	4.2
12	Nowkhaleh Bazar													
13	Baghlakesh													

**Table 13- Sensitivity and uncertainty analysis results for IRWQI<sub>SC</sub> at stations on Pasikhan River (Sobol method)**

جدول ۱۳- نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل IRWQI<sub>SC</sub> در رودخانه پسیخان در ایستگاه‌های مختلف (روش SOBOL)

No.	Station	Parameter	Sensitivity- Percent of Model output variance									Uncertainty		
			DO	Coliform	P	N	pH	BOD	TUR	EC	Hardness	COD	MEAN	S.D
1	Alisara		0.09	0.06	0.1	0.52	0.09	0.2	0.007	0.002	0.007	0.01	79.35	2.4
2	Mobarakabad		0.47	0.09	0.08	0.37	0.005	0.03	0.003	--	0.005	--	83	3.5
3	Kamsar		0.55	0.05	0.13	0.23	--	0.1	0.004	0.005	0.02	--	70	3.3
4	Khatiban		0.38	0.07	0.08	0.14	--	0.23	--	0.1	0.02	0.004	74.9	3.1
5	Kouzhan		0.52	0.1	0.1	0.08	--	0.13	--	0.11	0.01	0.01	68	3.6
6	Dafsar		0.52	0.12	0.06	0.08	--	0.17	--	0.07	0.01	0.01	67.3	3.6
7	Pasikhan		0.43	0.05	0.06	0.09	--	0.29	--	0.09	0.008	0.02	62.4	4
8	Rastehkenar		0.3	0.14	0.1	0.08	--	0.32	--	0.1	0.01	0.02	57.8	3.7
9	Boudian		0.14	0.14	0.05	0.04	0.008	0.55	--	0.1	0.002	0.02	54.6	3.32
10	Emamzadeh NOWkhaleh		0.08	0.13	0.04	0.04	0.03	0.65	--	0.08	--	0.02	52	3.2
11	Nowkhaleh		0.29	0.19	0.04	0.05	0.01	0.33	--	0.08	0.03	0.02	53.2	4.2
12	Nowkhaleh Bazar		0.11	0.14	0.02	0.03	0.01	0.66	--	0.05	0.01	0.01	46.5	3.8
13	Baghlakesh		0.08	0.08	0.02	0.04	0.02	0.7	--	0.08	0.01	0.02	44.6	3.4

دراز مدت آنها جهت اندازه‌گیری کیفیت آب براساس مدل استفاده نمود. شکل کلی اصلاح شده مدل NSFQI در رودخانه پسیخان به صورت رابطه ۱ پیشنهاد گردید که در آن، مقدار مربوط به پارامترهای BOD، COLIFORM و DO و I<sub>j</sub> مقدار مربوط به متوسط دراز مدت پارامترهای P، N، TUR، TSS، pH و W<sub>i</sub> و W<sub>j</sub> نیز ضریب وزنی مربوط به هر پارامتر می‌باشد:

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n I_i W_i + \sum_{j=1}^n I_j W_j \quad (6)$$

### ۳-۸- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم قطعیت مدل غیرخطی IRWQI<sub>SC</sub> به صورت زمانی به تفکیک هر فصل

تغییرپذیری زمانی پارامترهای مدل IRWQI<sub>SC</sub> در جدول ۱۵ آمده است. BOD به عنوان حساسترین پارامتر در تمام فصول سال در حوزه رودخانه پسیخان بود. پس از این پارامتر، COLIFORM در رتبه‌بندی بعدی قرار دارد که دلیل آن می‌تواند شکل غیرخطی معادله و ضریب وزنی بالای این پارامتر باشد. در سایر پارامترهای مدل پراکندگی در طول سال دیده نمی‌شود به طوری که می‌توان مانند مدل NSFQI از متوسط داده‌های دراز مدت آنها جهت اندازه‌گیری کیفیت آب براساس نظرات کارشناسی و یک سری تمهیدات خاص استفاده نمود.

### ۳-۷- نتایج آنالیز حساسیت و تحلیل عدم قطعیت مدل خطی NSFQI به صورت زمانی به تفکیک هر فصل

تغییرپذیری زمانی پارامترهای مدل NSFQI در جدول ۱۴ آمده است. در تمام ایام سال به ترتیب پارامترهای BOD، COLIFORM و DO حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهند. BOD به عنوان حساس‌ترین پارامتر در تمام فصول سال در حوزه رودخانه پسیخان بود که دلیل این امر می‌تواند تجزیه بیوشیمیایی مواد آلی در آب رودخانه در اثر ورود انواع فاضلاب‌های صنعتی، خانگی و کشاورزی می‌باشد. حساسیت پارامترهای DO در فصول پاییز و زمستان به دلیل بارش باران و برف در حوزه رودخانه پسیخان کاهش می‌یابد. فعالیت‌های آبریز پروری و شهرک صنعتی شفت سبب افزایش حساسیت COLIFORM شده به طوری که حساسیت آن از ۰/۱۶ در تابستان به ۰/۴ در زمستان می‌رسد. پارامترهای نیترژن و فسفر اگرچه نقش مهمی در فعل و انفعالات شیمیایی در آب دارد اما پراکندگی ناچیزی در طول فصول مختلف سال نشان داده‌اند که به همین دلیل می‌توان از متوسط یا میانگین آن‌ها استفاده نمود. نقش پارامترهای TUR، TSS و درجه حرارت نیز به همین منوال بوده به طوری که براساس نظرات کارشناسی و یک سری تمهیدات می‌توان از متوسط داده‌های

**Table 14- Sensitivity and uncertainty analysis for IRWQI<sub>SC</sub> in different seasons (SRC method)**  
جدول ۱۴- نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل NSFQI در رودخانه پسیخان در فصول مختلف (روش SRC)

DO	Sensitivity- Percent of Model output variance									Uncertainty		Season
	T	Coliform	P	N	pH	TSS	BOD	TUR	MEAN	S.D		
0.32	0.02	0.3	0.01	-	0.01	0.02	0.36	0.04	59	4.4	Spring	
0.36	0.01	0.16	0.03	0.01	0.01	0.01	0.36	0.04	55.6	4.7	Summer	
0.15	0.01	0.32	0.03	-	0.02	0.02	0.4	0.04	60	4	Autumn	
0.07	0.04	0.4	0.01	-	0.03	0.01	0.4	0.03	69	4	Winter	

**Table 15- Sensitivity and uncertainty analysis for IRWQI<sub>SC</sub> in different seasons**  
**جدول ۱۵- نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل IRWQI<sub>SC</sub> در رودخانه پسیخان در فصول مختلف سال**

Sensitivity- Percent of Model output variance										Uncertainty		Season
DO	Coliform	P	N	pH	BOD	TUR	EC	Hardness	COD	MEAN	S.D	
0.03	0.26	0.04	0.04	0.02	0.51	--	0.12	0.02	0.08	63	4	Spring
0.08	0.28	0.05	0.01	0.01	0.56	--	0.04	0.01	0.06	54	4.25	Summer
0.12	0.5	0.04	0.01	0.01	0.37	--	--	--	0.03	64	4.2	Autumn
0.06	0.42	0.07	--	0.03	0.5	--	--	--	0.03	68	3.6	Winter

به دست می‌دهد. نتایج مطالعات (Sadeghi et al. 2015) و (Mirzaei et al. 2017) بر روی رودخانه‌های به ترتیب زری گل در استان گلستان و رودخانه‌های کن و کرج بر این نتیجه‌گیری صحه می‌گذارند. در این مطالعه به طور خاص از بررسی نتایج دو مدل مورد نظر در ارزیابی کیفیت آب رودخانه در تمام فصول سال مشخص گردید که در ایستگاه‌های بالادست مقدار شاخص کیفی آب ایران (IRWQI<sub>SC</sub>) بیشتر از شاخص کیفی بین‌المللی (NSFWQI) است و در ایستگاه‌های پایین‌دست این موضوع برعکس می‌گردد. علت اصلی این امر می‌تواند اولاً کمتر بودن حساسیت مدل IRWQI<sub>SC</sub> به DO و بعد کمتر بودن حساسیت مدل NSFWQI به غلظت فسفات و نیتروژن باشد که برخلاف اکسیژن محلول به سمت پایین دست افزایش می‌یابند. نتایج آنالیز حساسیت مدل NSFWQI در ایستگاه‌های مختلف (در تحلیل مکانی) براساس رویکرد Factor Prioritization نشان داد که پارامتر DO بیشترین تأثیر را بر روی واریانس خروجی مدل دارد اما در سرشاخه‌های رودخانه که کیفیت آب مناسب است، سایر پارامترها مانند BOD، کلیرم و درجه حرارت تأثیر بیشتری بر روی واریانس خروجی دارند. نتایج آنالیز حساسیت براساس رویکرد Factor Fixing نشان داد که با ثابت کردن پارامتر DO می‌توان واریانس خروجی را تا حد زیادی کنترل نمود و عدم قطعیت مدل را به صورتی معنی‌دار کاهش داد. این امر نشان دهنده اهمیت فوق‌العاده زیاد این پارامتر در نتایج ارزیابی کیفی با شاخص NSFWQI بوده و نشان می‌دهد که صرف هزینه تخصیص داده شده در هر پروژه برای افزایش تعداد دفعات و دقت اندازه‌گیری DO و در مقابل استفاده از متوسط برخی دیگر از پارامترها تا حد زیادی می‌تواند دقت تعیین کیفیت با این روش را بهبود بخشد. تحلیل حساسیت و عدم قطعیت هر دو مدل در این تحقیق با استفاده از تکنیک مونت کارلو صورت گرفته است. در این راستا، در تحلیل عدم قطعیت و ارزیابی حساسیت مدل NSFWQI به عنوان یک مدل خطی از روش نمونه‌گیری تصادفی و متدولوژی SRC و برای مدل IRWQI<sub>SC</sub> به عنوان یک مدل غیر خطی از دو روش نمونه‌گیری و متدولوژی FAST و SOBOL استفاده شد. در تحلیل عدم قطعیت، نتایج حاصل از بکارگیری متدولوژی SOBOL برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه پسیخان با روش FAST مطابقت داشت اما نتایج آنالیز حساسیت

شکل کلی اصلاح شده مدل IRWQI<sub>SC</sub> در رودخانه پسیخان به صورت رابطه ۷ پیشنهاد گردید که در آن، I<sub>i</sub> مقدار مربوط به پارامترهای BOD، COLIFORM، I<sub>j</sub> مقدار مربوط به متوسط دراز مدت سایر پارامترهای مدل می‌باشد. W<sub>i</sub> و W<sub>j</sub> نیز ضریب وزنی مربوط به هر پارامتر می‌باشد.

$$IRWQI_{SC} = \left( \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right)^{\frac{1}{0.257}} + \left( \prod_{j=1}^n I_j^{W_j} \right)^{\frac{1}{0.653}} \quad (7)$$

#### ۴- نتیجه‌گیری

براساس مطالعه انجام شده کیفیت آب رودخانه پسیخان به جز ماه‌های گرم تابستان در طی ماه‌های مختلف تغییرات چندانی نداشت. در بررسی مکانی تغییرات آلودگی رودخانه از ایستگاه‌های بالادست به طرف پایین‌دست از کیفیت آب به نحو چشمگیری کاسته می‌شود. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج (Aminpour et al. 2017) منی بر افزایش میزان آلودگی کاهش کیفیت آب رودخانه گازرودبار، از ایستگاه‌های بالادست به سمت پایین دست به علت ورود انواع آلاینده‌های خانگی، روستایی، شهری و کشاورزی، مطابقت دارد. در فصل تابستان به علت دمای بالا و کاهش دبی رودخانه، مقادیر DO کاهش و BOD افزایش یافته و در عین حال افزایش غلظت کلیرم مدفوعی و مقادیر جامدات معلق در آب، کیفیت آب رودخانه را کاهش داده است. برای ارائه سیمای کیفی رودخانه در یک نگاه اجمالی می‌توان گفت که هر دو مدل، با تفاوت‌هایی در حد یک "کلاس کیفی"، ایستگاه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ را که بر روی سرشاخه‌های رودخانه پسیخان قرار دارند دارای کیفیتی خوب معرفی می‌نمایند. کیفیت آب در ایستگاه ۴ که محل برخورد سرشاخه و تشکیل رودخانه اصلی پسیخان می‌باشد، در بهترین حالت "خوب" و در بدترین حالت دارای کیفیت "متوسط" می‌باشد. از پل کوزان تا ایستگاه باقلاکش در محل ورود به تالاب انزلی کیفیت آب در حد "متوسط" بدست آمد. شایان ذکر است که در ایستگاه باقلاکش در بعضی از اوقات سال کیفیت آب رودخانه در کلاس "بد" نیز قرار می‌گیرد. بطور کلی می‌توان گفت که نتایج حاصل از مدل NSFWQI در مقابل مدل IRWQI<sub>SC</sub> محافظه‌کارانه بوده و شرایط کیفی را یک کلاس پایین‌تر

ایران و لزوم استفاده از آن را با سؤال مواجه می‌نماید، برای تأیید شدن نیازمند مطالعات بیشتر می‌باشد.

۲- از میان ۹ پارامتر مورد استفاده در شاخص NSFQI حساس‌ترین و در عین حال مؤثرترین پارامتر بر عدم قطعیت نتایج ارزیابی کیفیت رودخانه پسیخان، پارامتر DO می‌باشد. این امر که مؤید نظرات کارشناسی در تعیین ضریب وزنی این پارامتر در شاخص مزبور می‌باشد، دال بر اهمیت دقت اندازه‌گیری این پارامتر در مقابل ۸ پارامتر دیگر است.

۳- از میان ۱۱ پارامتر مورد استفاده در شاخص IRWQI<sub>sc</sub> اثر دو پارامتر DO و BOD بر نتایج حاصل از بکارگیری این شاخص در ارزیابی کیفیت رودخانه پسیخان در مقایسه با دیگر پارامترها از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد.

۴- با توجه به نتایج مذکور در بندهای ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ضریب وزنی DO در شاخص NSFQI<sub>sc</sub> می‌تواند مقدار بزرگتری باشد. تأیید این نتیجه‌گیری نیازمند مطالعات بیشتر و پژوهشی خاص می‌باشد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- National Sanitation Foundation Water Quality
- 2- Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional Parameters
- 3- Local Sensitivity Analysis
- 4- Global Sensitivity Analysis
- 5- Standardised Regression Coefficients
- 6- Fourier Amplitude Sensitivity Test
- 7- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

#### ۵- مراجع

Alizadeh M, Mirzaei R, Kia SH (2017) Determining the spatial trend of water quality indices across Kan and Karaj River Basins. *Journal of Environmental Health Engineering* 4(3):243-256 (In persian)

Aminpour S, Mohammadi M, Khaledian M, Mir Roshandel A (2017) Water quality assessment of the Ghazrodbar River using the NSFQI qualitative index and Liou Pollution Index. *Journal of Wetland Ecology* 22:31-40 (In persian)

APHA (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater, 23th edition. American Public Health Association, Washington, DC. USA, 541p

Brown RM, McLelland NJ, Deininger RA, Tozer RG (1970) A water quality index do we dare? *Water and Sewage Works* 339-343

حاصل از این دو روش با یکدیگر متفاوت بودند. با توجه به نتایج حاصله و علیرغم نزدیکی نتایج حاصل از دو روش، می‌توان گفت متدولوژی SOBOL با توجه به همگرایی بدون قید و شرط در این مطالعه موفق‌تر از متدولوژی FAST عمل نموده است. این ارزیابی با نتایج تحقیق Zhan et al. (2013) مطابقت دارد. در ایستگاه شماره ۱ نیتروژن بیشترین تأثیر را در واریانس خروجی مدل داشت ولی از ایستگاه ۲ تا ایستگاه ۷ پارامتر DO بیشترین حساسیت را نشان داد. به همین منوال در ایستگاه شماره ۸ تأثیر پارامترهای DO و BOD بر روی واریانس خروجی مدل تقریباً با هم برابر بود، اما از ایستگاه شماره ۹ تا ایستگاه آخر، BOD بالاترین حساسیت را نسبت به سایر پارامترها از خود نشان داد. نتایج آنالیز حساسیت زمانی به صورت فصلی در هر دو مدل نشان داد که پارامتر BOD در طول فصول مختلف سال حساسیت زیادی را از خود نشان می‌دهد. از مجموعه نتایج تحلیل زمانی و مکانی به عمل آمده اهمیت فوق‌العاده زیاد دو پارامتر DO و BOD در نتایج ارزیابی کیفی با شاخص IRWQI<sub>sc</sub> در مقابل اهمیت DO در مدل NSFQI را نشان داده و بر اهمیت تعداد دفعات و اندازه‌گیری دقیق این دو پارامتر در استفاده از مدل IRWQI<sub>sc</sub> تأکید می‌نماید. نکته بسیار مهمی که در این مطالعه و برای رودخانه مطالعاتی بدست آمد این است که به نظر می‌رسد ضرایب وزنی پارامترهای کیفی تعریف شده برای تعیین شاخص IRWQI<sub>sc</sub> تطابق مناسبی با اهمیت آنها در خروجی مدل و حساسیت مدل به پارامترهای کیفی مورد استفاده برای نمایش وضعیت کیفی رودخانه پسیخان ندارند. این امر قابل بحث است که چون ارزش هر پارامتر در تعیین شاخص، از حاصل ضرب وزن پارامتر در ارزش عددی پارامتر بدست می‌آید و لذا نمی‌توان به طور مستقیم از نتایج بدست آمده در این مطالعه که حساسیت DO را در مقیاس مکانی و زمانی در مقابل بقیه پارامترها معنی‌دار توصیف می‌کند روی صحت و سقم نتایج و یا به عبارتی شایسته‌تر دقت نتایج روش IRWQI<sub>sc</sub> قضاوت نمود، اما اگر به ضرایب وزنی به صورت نوعی ضریب اهمیت و در واقع ضریب حساسیت بنگریم، ملاحظه می‌شود که روش یاد شده در مطالعه حاضر از این نظر چندان موفق نبوده است. توجه به بزرگ بودن ضریب وزنی DO در روش NSFQI در مقابل وزن نسبتاً کم این پارامتر در روش بومی IRWQI<sub>sc</sub> در کنار نتایج حاصل از این تحقیق لزوم مطالعه بیشتر در خصوص ساختار مدل IRWQI<sub>sc</sub> را گوشزد می‌نماید.

بر این اساس به عنوان جمع‌بندی از نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- دو شاخص NSFQI و IRWQI<sub>sc</sub> در ارزیابی کیفیت آب رودخانه پسیخان در دو بعد زمان و مکان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان نمی‌دهند. این نتیجه‌گیری که در واقع مؤثر بودن روش دوم در

- Saltelli A, Ratto M, Andres T, Campolongo F, Cariboni J, Gatelli D, Saisana M, Tarantola S (2008) Global sensitivity analysis: the primer. John Wiley & Sons, 305p
- Saltelli A, Ratto M, Tarantola S, Campolongo F (2012) Update 1 of: Sensitivity analysis for chemical models. Chemical Reviews 112:PR1-PR21
- Saltelli A, Tarantola S, Campolongo F, Ratto M (2004) Sensitivity analysis in practice: A guide to assessing scientific models. John Wiley & Sons, Ltd. 232p
- Samadi J (2015) Survey of spatial-temporal impact of quantitative and qualitative of land use wastewaters on Choghakhor Wetland pollution using IRWQI Index and statistical methods. Iranian Water Resources Research 11(3):159-171 (In persian)
- Sánchez E, Colmenarejo M, Vicente J, Rubio A, García M, Travieso L, Borja R (2007) Use of the water indicators of watersheds pollution. Journal of Ecological Indicators 7(2):315-28
- Sharifdini NG, Amirnezhad R, Saeb K (2014) Qualification zoning of the Dohezar River according to NSFQI and using GIS. J Mazandaran Univ Med Sci. 24(118):29-39 (In persian)
- Shokuhi R, Hosinzadeh E, Roshanaei G, Alipour M, Hoseinzadeh S (2012) Evaluation of Aydughmush Dam reservoir water quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. Journal of Health and Environ 4:439-450 (In persian)
- Sobol IM (2001) Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. Mathematics and Computers in Simulation 55:271-280
- Sohrabi N, Alizade A, Haseoonizade H, Hosseinzade S (2015) Qualitative zoning of the Surgical River based on the NSFQI index and using the GIS. Journal of Wetland Ecobiology 22:31-40
- Song X, Zhan C, Xia J, Zhang Y (2014) Methodology and application of parameter uncertainty quantification in watershed hydrological models. China Water Power Press, Beijing, China, 432p
- Song X, Zhang J, Zhan C, Xuan Y, Ye M, Xu C (2015) Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications. Journal of hydrology 523:739-757
- Tian W (2013) A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 20:411-419
- Zeng X, Wang D, Wu J (2012) Sensitivity analysis of the probability distribution of groundwater level
- Fabiano DS, Altair BM, Marcia CB, Sonia MNG, Maria JSY (2008) Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological indicators 8:476-484
- Hashemi S, Farzampour T, Ramzani S, Khoshroo Gh (2012) Guidelines for calculating Iran Water Quality Index. Department of Environment, 42 p (In persian)
- Herman J, Reed P, Wagener T (2013) Time-varying sensitivity analysis clarifies the effects of watershed model formulation on model behavior. Water Resources Research 49:1400-1414
- Massmann C, Holzmann H (2012) Analysis of the behavior of a rainfall-runoff model using three global sensitivity analysis methods evaluated at different temporal scales. Journal of Hydrology 475:97-110
- Mohammadi K, Razdar B, Samani J (2006) Investigation of the quality of water of the Pasikhan River using CE-QUAL-W2 Model, Nitrate and Phosphate parameters and comparing the results of simulation with WASP software. In Proc. of Fourth National Congress of Civil Engineering, May 2008, Tehran, Iran, 1-8 (In persian)
- Mohseni-Bandpey A, Majlesi M, Kazempour A (2014) Evaluation of Golgol river water quality in Ilam province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). Journal of Health in the Field 1(4):1-7 (In persian)
- Panahande M, Rahbar Hashemi M, Ashournia M, Modaberi H (2016) Investigation on the effects of toxicity and potential ecological risks of lead and cadmium in sediments of Anzali Wetland using TUI and Haksnsnson models. In Proc. of First International Conference on Environmental Engineering, Feb. 2014, Tehran, Iran, 1-9 (In persian)
- Pappenberger F, Beven KJ, Ratto M, Matgen P (2008) Multi-method global sensitivity analysis of flood inundation models. Advances in Water Resources 31:1-14
- Parastar S, Poureshgh B, Dargahhi A, Poreshgh Y, Vosoughi M (2013) Quality assessment of Hiroo River by NSFQI and WILCOX indices in Khalkhal. Health Journal 4(3):273-283 (In persian)
- Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad MH, Mallah M (2015) The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. Journal of Health in the Field 3(3):27-33 (In persian)
- Saltelli A (1999) Sensitivity analysis: Could better methods be used? Journal of Geophysical Research: Atmospheres 104:3789-3793

Zhan C-S, Song X-M, Xia J, Tong C (2013) An efficient integrated approach for global sensitivity analysis of hydrological model parameters. *Environmental Modelling and Software* 41:39-52

series based on information entropy. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 26:345-356